

# SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE SOLDAS

## COMPUTER VISION SYSTEM WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR WELD QUALITY ANALYSIS

Adriano de Souza Alvares<sup>1, i</sup>  
Eliane Portalone Crescenti<sup>2, ii</sup>  
Karen Rossi Nunes<sup>3, iii</sup>  
Mauricio Falvo<sup>4, iv</sup>  
Tony Emerson Marim<sup>5, v</sup>

### RESUMO

Este trabalho explora o desenvolvimento e a validação de um modelo de inteligência artificial para a inspeção automatizada da qualidade de soldas em componentes metálicos. O principal intuito é identificar anomalias recorrentes no processo de soldagem por meio da análise de imagens digitais. A metodologia empregada utiliza Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para a classificação das imagens, com o auxílio de bibliotecas e frameworks como TensorFlow e Keras. O projeto abrangeu a criação de um acervo de imagens de soldas com e sem defeitos obtidas de bases de dados abertas, *WeldDefects*, imagens rotuladas para o treinamento supervisionado do modelo. Os resultados preliminares atestam a eficácia da estratégia, com base em estudos prévios que indicam a projeção de uma acurácia superior a 80% para a detecção de falhas visuais. Esta proposta almeja apresentar uma alternativa viável e eficaz para a inspeção de soldas, alinhando-se aos preceitos da Indústria 4.0

---

**Palavras-chave:** inspeção automatizada; visão computacional; soldagem; inteligência artificial; Indústria 4.0.

### ABSTRACT

This work explores the development and validation of an artificial intelligence model for the automated inspection of weld quality in metal components. The main purpose is to identify recurring anomalies in the welding process by analyzing digital images. The methodology used employs Convolutional Neural Networks (CNNs) for image classification, with the help of libraries and frameworks such as TensorFlow and Keras. The project included the creation of a dataset of weld images with and without defects, obtained from open-source databases like *WeldDefects*, where the images were labeled for the supervised training of the model. Preliminary results confirm the effectiveness of the strategy, based on previous studies that project an accuracy of

---

<sup>1</sup> Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [aalvares@sp.senai.br](mailto:aalvares@sp.senai.br)

<sup>2</sup> Doutora em Educação e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [eliane.crescenti@sp.senai.br](mailto:eliane.crescenti@sp.senai.br)

<sup>3</sup> Graduanda em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [karenrossinunes@yahoo.com.br](mailto:karenrossinunes@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Doutor em Física e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [mauricio.falvo@sp.senai.br](mailto:mauricio.falvo@sp.senai.br)

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: [tony.marin@sp.senai.br](mailto:tony.marin@sp.senai.br)

over 80% for visual defect detection. This proposal aims to present a viable and effective alternative for weld inspection, aligning with the principles of Industry 4.0.

**Keywords:** automated inspection; computer vision; welding; artificial intelligence; Industry 4.0.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, a indústria, seja ela do setor automotivo, metalurgia, aeroespacial, naval, petroquímico, construção civil, dentre outras, faz uso de diversas técnicas de soldagem que podem ser realizadas por humanos e máquinas. A inspeção da qualidade da solda é necessária para garantir a integridade estrutural dos componentes metálicos. O processo de inspeção ocorre manualmente por inspetores treinados, tendo um alto custo operacional e sujeito a erros ocasionados por limitações visuais, cansaço e variabilidade humana. Mediante este cenário, o uso de tecnologias como Visão Computacional e Inteligência Artificial se apresenta como uma solução bastante promissora para a inspeção de qualidade das soldas, trazendo mais agilidade, maior padronização e maior precisão. Este estudo propõe o desenvolvimento de um modelo de Rede Neural Convolutiva (CNN), por meio do treinamento supervisionado, evidenciar a capacidade de contornar as deficiências da inspeção manual. O modelo será capaz de classificar as soldas como “aprovadas” ou “reprovadas” a partir das análises de imagens. O sistema que será desenvolvido analisará as imagens e poderá ser integrado com a indústria 4.0.

### 1.1 Problema de pesquisa

A inspeção manual de soldas, crucial para a segurança de componentes metálicos, é suscetível a erros humanos, tem um alto custo operacional e é ineficiente para a grande quantidade de pontos de solda em ambientes industriais modernos. Diante desses desafios, o problema de pesquisa surge com o desenvolvimento e validação de uma solução de visão computacional, usando inteligência artificial, que automatize a inspeção de soldas e identifique falhas visuais com precisão, superando as limitações da inspeção manual.

### 1.2 Objetivo

O objetivo é avaliar a acurácia do modelo e sua capacidade de generalização para detecção de falhas, comprovando a viabilidade da solução como uma alternativa à inspeção humana tradicional.

### 1.3 Justificativa

A inspeção de soldas é essencial para garantir a integridade estrutural de produtos metálicos. Atualmente, muitos processos de inspeção são manuais e sujeitos a erro humano. Automatizar essa tarefa com IA aumenta a consistência, reduz custos e melhora a rastreabilidade e padronização da qualidade.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A inspeção de soldas na indústria, enfrenta desafios significativos devido ao grande volume de pontos de solda, que podem chegar de 4 a 6 mil em uma única carroceria,

como no setor automotivo (ABE, 2023).

Os métodos de análise de solda convencionais, destrutivos e subjetivos, resultam em menor precisão e aumento no tempo de produção, consumo de energia e custos de manufatura. Além disso, a inspeção manual expõe os trabalhadores a riscos relacionados a fontes de calor e produtos químicos (COELHO, 2020).

Para superar essas limitações, uma solução eficiente é a automatização aliada à inteligência artificial e visão computacional (BOHRER, 2021). A visão computacional permite que máquinas "enxerguem" e extraíam informações significativas de imagens, simulando a inteligência humana (LUZ, 2025). As Redes Neurais Artificiais (RNAs), particularmente as Redes Neurais Convolucionais (CNNs), são ferramentas cruciais no aprendizado de máquina, ideais para detecção de padrões complexos e classificação de imagens, utilizando filtros para analisar pixels e aprender características importantes (SOARES, 2018).

Os dados encontrados na literatura mostram que o sistema é uma ferramenta eficaz, alcançando uma acurácia acima de 80% na análise da solda, mesmo com o treinamento sendo realizado com um baixo volume de imagens. Esses avanços não só melhoram a precisão da análise de solda e de componentes, mas também aumentam a eficiência dos processos industriais, contribuindo para a automação e o controle de qualidade na Indústria 4.0 (RIBEIRAO et al., 2022).

### 3 METODOLOGIA

Com uma revisão de literatura feita para sedimentar os conceitos e a problemática já definida, foi realizada uma coleta, preparação e rotulagem dos dados utilizando imagens de soldas com e sem defeitos obtidas de bases de dados abertas, *WeldDefects*, como *Roboflow Universe* e *Kaggle*, garantindo imagens com boa qualidade e diversidade de cenários. As imagens foram rotuladas por meio do *Labellmg* e permitiu a identificação de regiões com defeitos. Esse processo resultou na criação de um conjunto de dados essencial para o treinamento do modelo.

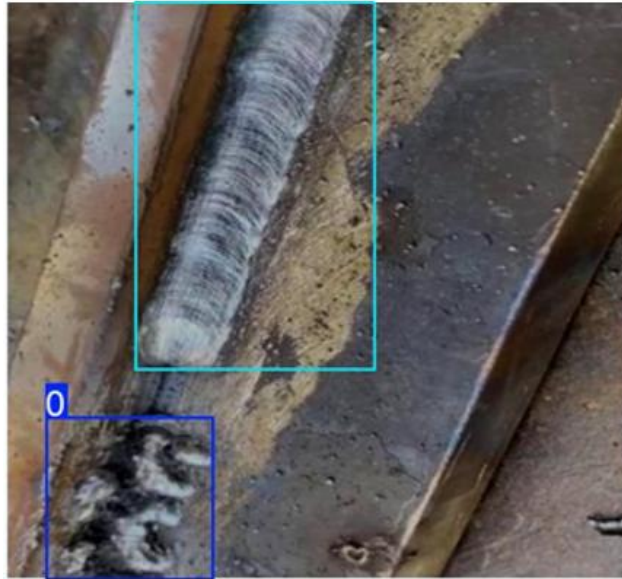
Um modelo supervisionado de Rede Neural Convolucional (CNN) está sendo implementado em Python utilizando as bibliotecas *TensorFlow* e *Keras*. Para evitar o *overfitting*, será usada a técnica de *data augmentation* que realiza transformações nas imagens. O modelo será treinado para classificar as soldas como "aprovadas" ou "reprovadas".

A validação e avaliação de resultados utilizará um conjunto de imagens desconhecida pelo modelo. Será usado um conjunto de métricas para validar o modelo como F1-score e acurácia para comparar com inspeções humanas.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo, concentrados nas etapas de revisão de literatura e preparação dos dados como mostra figura 1, demonstram a viabilidade e o potencial do uso de Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para a inspeção de soldas. A revisão de literatura mostra que modelos convolucionais são eficazes, com estudos anteriores alcançando acurácia superior a 80%, mesmo com um baixo volume de imagens. Com base nessa análise, projeta-se que o modelo em desenvolvimento será capaz de identificar e classificar com acurácia igual ou superior a 80% soldas com e sem defeitos. A coleta de dados de fontes abertas como o banco de dados *WeldDefects* e o processo de rotulagem das imagens foram concluídos, fornecendo a base necessária para o treinamento do modelo.

Figura 1 – Rotulagem - Solda com defeito (azul escuro) e sem defeito (azul claro)



Fonte: Própria autor

A aplicação de técnicas de *data augmentation* permitirá aumentar a robustez e a capacidade de generalização do modelo, garantindo que ele não sofra de *overfitting*. Embora o treinamento e a validação estejam em andamento, as análises iniciais já confirmam o ótimo desempenho esperado do modelo de redes neurais convolucionais para o processamento de imagem na detecção de defeitos visuais em soldagem. A validação final, utilizando métricas como o F1-score, irá consolidar a confiabilidade e aplicabilidade do modelo em um ambiente industrial.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo evidencia o imenso potencial da visão computacional e da inteligência artificial como um valioso apoio na inspeção de soldas. A pesquisa apresenta o desenvolvimento de um modelo de Rede Neural Convolucional (CNN) que, através de treinamento supervisionado, demonstra a capacidade de superar as limitações da inspeção manual, como o alto custo e a propensão a erros humanos.

Embora o modelo ainda esteja em testes e, a análise do modelo, da literatura e a completa preparação dos dados indicam que ele será capaz de identificar, com grande precisão, falhas visuais. A coleta, preparação e rotulagem de 1152 imagens já foi realizada com sucesso, fornecendo uma base robusta para o treinamento. Com uma acurácia projetada igual ou superior a 80%, a solução se mostra promissora para otimizar processos industriais e aumentar o controle de qualidade. A pesquisa prova a viabilidade e o potencial da abordagem, servindo como uma base sólida para o uso do modelo, onde na próxima etapa será implementação de um sistema que trabalhará com o modelo tornando-o acessível e alinhado para a Indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS

### REFERÊNCIAS

ABE, W. C. **Aspectos de projeto e implantação de um sistema de análise de solda utilizando visão computacional**. 2023. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/248395>. Acesso em: 08 ago. 2025.

BOHRER, V. C. **Desenvolvimento de um sistema de visão computacional para a avaliação da qualidade de furos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/223534>. Acesso em: 08 ago. 2025.

COELHO, F. G. F. et al. Uso de Sistema de Visão de Baixo Custo para Monitoramento de Distorções Durante Deposições Multicamadas no Processo de Soldagem GMAW. **Soldagem e Inspeção**, [s.l.], v. 25, n. 2, e2524, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI25.24>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/YD8Q34LFcN8xDx89shrBvHH/?lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2025 .

LUZ, M. H. da C. **Desenvolvimento de Sistema de Visão Computacional para Controle de Qualidade Dimensional e Superficial de Componentes Mecânicos por meio da Metodologia de Projeto de Produto**. 2025. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025. Disponível em: [https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/9011/2/TCC\\_MatheusLuz.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/9011/2/TCC_MatheusLuz.pdf). Acesso em: 08 ago. 2025.

RIBEIRO, A. L. A. et al. **Inspeção de qualidade de solda por visão computacional**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Computação), Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/348?show=full>. Acesso em: 07 ago. 2025.

SOARES, Luciane Baldassari. **Sistema de Visão Computacional para Auxílio na Inspeção Visual de Cordões de Solda**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação), Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2018. Disponível em: <https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/bdtd/276d71b485bdb1bcf0a9f33ee4b1b050.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

## Sobre os autores:

---

### <sup>1</sup> ADRIANO DE SOUZA ALVARES



Doutor em Biotecnologia na UFSCar, Graduado em Sistemas de Informação e Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Central Paulista – UNICEP. Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/0734593128098221> Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2375-3462>

### <sup>2</sup> ELIANE PORTALONE CRESCENTI



Doutora em Educação pela UFSCar, Graduada em Pedagogia, possui licenciatura em Matemática e graduanda no curso de psicologia pela UNICEP. Professora da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/7287574807580165> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8572-8038>

### <sup>3</sup> KAREN ROSSI NUNES



Atualmente é aluna do curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Faculdade SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/7905240922575209>

### <sup>4</sup> MAURICIO FALVO



Possui doutorado em Física pela USP e graduação em Análise de Sistemas pela PUC-Campinas. Atualmente, ocupa o cargo de Professor de ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/1457433896521556> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8080-0168>

### <sup>5</sup> TONY EMERSON MARIM



Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Paulista (UNIP) e Licenciatura plena em Pedagogia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, além de mestrado em Engenharia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Atualmente, ocupa o cargo de Professor de ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <https://lattes.cnpq.br/2215850363897403> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8802-239X>